

**Beschreibung**

Verfahren zur Gleichstellung der Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gleichstellung der Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 Bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine ergibt sich bei der Einspritzung von Kraftstoff in die Verbrennungsräume durch Streuungen insbesondere der mechanischen Eigenschaften der Einspritzvorrichtung, beispielsweise der Injektoren für Dieselmotoren mit Common Rail, ein systematischer Fehler.
- 15 Aufgrund von Fertigungstoleranzen der genannten Komponenten (unterschiedliche Leerhübe) werden bei gleicher Ansteuerdauer und gleicher Aktorenergie unterschiedliche Kraftstoffmengen der Verbrennung in den einzelnen Zylindern zugeführt. Die unterschiedlichen Kraftstoffmengen führen zu einer unterschiedlichen Leistungsabgabe der einzelnen Zylinder, was neben einer Steigerung der Laufunruhe auch zu einer Erhöhung der Menge an schädlichen Abgaskomponenten führt. Außerdem können Unterschiede im Leerhub Veränderungen im Öffnungsverhalten der Injektoren hervorrufen. Dies äußert sich dadurch, dass der
- 20 hydraulische Einspritzbeginn zwischen den einzelnen Injektoren sowie der Einspritzverlauf verschieden sind.
- 25

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, dass es erlaubt, den tatsächlichen, einspritzparameterabhängigen systematischen Fehler bezüglich der Einspritzmengen, des hydraulischen Einspritzbeginns und des Einspritzverlaufs im Hinblick auf eine Zylinder gleichstellung auf einfache Weise zu ermitteln.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung.

Erfindungsgemäß wird das Verfahren zur Gleichstellung der Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine für mindestens einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt. Dabei befindet sich die Brennkraftmaschine in einem ausgewählten Betriebspunkt. Dabei ist darauf zu achten, dass während der Adaption die Dynamik des ausgewählten Betriebspunktes begrenzt wird, da sich ein veränderter Einspritzparameterwert sonst in einer vom Fahrer des Fahrzeugs nicht injizierten Abbremsung oder Beschleunigung, jedenfalls in einen neuen Betriebspunkt, also instationären Bedingungen während der Adaption, äußern würde.

Als nächstes werden die Einspritzmengenunterschiede für den ausgewählten Betriebspunkt bestimmt und als Adoptionswerte gelernt, die dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnet werden. Wie oben bereits erwähnt wurde, ist darauf zu achten, dass der gewählte Betriebspunkt im wesentlichen stationär bleibt. Die zweiten bzw. weiteren Einspritzparameter werden hier als Hilfsgrößen derart gesteuert, dass der Fahrer vom Adoptionsprozess nichts bemerkt. Da einige wenige Kolbenhübe zur Adaption ausreichend sind, kann die Motorsteuerung ohne weiteres auch so eingestellt werden, dass der Fahrer die stationären Bedingungen während der kritischen Adoptionsphase nicht, oder nur bei Überschreitung einer Schwelle beim vom Fahrer über das Gas eingeforderten Wunschleistung, aufheben kann.

Vorzugsweise dienen die gelernten Adoptionswerte zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren, mit denen, beispielsweise im Rahmen einer Laufunruheregelung, während des Adoptionsprozesses und dem Fahrbetrieb, ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen, des hydraulischen Einspritzbeginns und des Einspritzverlaufs erfolgt.

10

Als vorteilhaft hat sich dabei herausgestellt, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit einem piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerdauer, der Ansteuerzeitpunkt und/oder die Aufladezeitdauer als Ansteuerparameter herangezogen werden. Es kann also insbesondere für verschiedene Werte des Einspritzdruckes eine Adaption des zur Gleichstellung notwendigen Ventilhubs durchgeführt werden.

- 20 Das erfindungsgemäße Verfahren eröffnet außerdem die Möglichkeit, dass am zur Adaption eingestellten stationären Betriebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.
- 25 Eine Diagnose des Absolutwertes der Einspritzmenge ist gerade für die Diagnose kleiner Einspritzmengen, die im Bereich von wenigen Milligramm liegen, entscheidend für die Einhaltung der grenzenden Abgasemission.
- 30 Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, den Beginn und die Dauer der Aufladung des piezoelektrischen Aktors derart einzustellen, dass beim erzeugten Aktorsignal (z.B. Nadelanschlag) für jeden Injektor zum selben Kurbelwellenwinkel, bezogen auf

den oberen Druckpunkt des entsprechenden Kolbens der Brennkraftmaschine erfolgen soll.

Dadurch können Einspritzmengenschwankungen und auch Unterschiede beim Einspritzbeginn, welche durch Fertigungstoleranzen (z.B. Leerhub) hervorgerufen werden, mittels des Aktorsignals und einer Verschiebung des Ansteuerzeitpunkts vollständig kompensiert werden. Dies zeigt sich insbesondere bei Vor- oder Nacheinspritzungen.

10

Die Erfindung wird im folgenden anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

15 Figur 1 ein Flussdiagramm zur Durchführung der erfindungsmaßen Einspritzmengengleichstellung

Figur 2 Ansteuerungssignale und Ventilhübe von zwei Injektoren bei unterschiedlicher Anpassung

In Figur 1 ist nach Start 1 der Einspritzmengengleichstellung 20 im nächsten Schritt eine Initialisierungsphase 2 vorgesehen, in der die in einem früheren Regelungszyklus abgespeicherten Adaptionsdatenwerte in ein (nicht dargestelltes) Motorsteuerungsgerät (ECU) geladen werden. Die Initialisierung eines neuen Regelungszyklus kann sowohl nach jedem Startvorgang der 25 Brennkraftmaschine, als auch nach bestimmten, vorgegebenen Zeit- oder Wartungsintervallen erfolgen.

Nach dem Ende der Initialisierung 2 erfolgt in einem passiven Regelungsschritt 3 die Überprüfung der Aktivierungsbedingungen. Dabei geht es darum, abzuwarten bis bevorzugte Betriebsbedingungen für die Adaption an bestimmte Einspritzparameterwerte erreicht sind. Dazu gehören beispielsweise die Last, 30 die Drehzahl oder die Kühlwassertemperatur. Dabei muss die

Motorsteuerung gegebenenfalls so umgestellt werden, dass bei der nachfolgenden Adaption die Dynamik der zeitlichen Veränderungen des zur Durchführung des Adaptionszyklus ausgesuchten Betriebspunktes begrenzt wird.

5

Sobald die Aktivierungsbedingungen erhöht sind, wird der eigentliche aktive Regelungszyklus 4 gestartet. Mit den dem Motorbetriebszustand zugehörigen Einspritzparameter 5 wird eine Regelung 6 der Ansteuerdauer und Aufladezeitdauer durchgeführt.

- 10 Als Ergebnis sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren der Brennkraftmaschine in einem bestimmten Betriebspunkt aneinander angeglichen und die Aktorsignale der verschiedenen Injektoren erfolgen zum selben Zeitpunkt. Ausführliche Angaben dazu, folgen in der Figurenbeschreibung zur Figur 2. Zum anderen ist an dieser Stelle des Ablaufs auch die zusätzliche Auswertungsmöglichkeit gegeben, dass am gewählten Betriebspunkt mit den gegebenen Einspritzparameterwerten auf eine aus dem Drehmomentenmodell bekannte Einspritzmenge geschlossen wird, die gemäß dem erzielten Drehmoment gegeben sein muss.
- 15

Danach, im Schritt 7 (Adaption der Ansteuerparameter) werden weitere Einspritzparameter bzw. Einspritzparametersätze i geladen und dafür jeweils die Regelung 6 durchgeführt mit einer

- 25 Bestimmung der am eingestellten Wert des gewählten Einspritzparameters vorliegenden Einspritzmengenunterschiede bzw. mit der Gleichstellung durch entsprechende Korrekturfaktor für einen Ansteuerparameter. Zur Adaption wird ein geeigneter Ansteuerparameter, wie beispielsweise an den Aktor angelegte Ansteuerdauer und Aufladezeitdauer ausgewählt. Die resultierenden Adaptionswerte werden dem Einspritzparametersatz, also primär dem Einspritzparameter, wie z.B. Einspritzdruck und Einspritzdauer dessen Einfluss auf die Einspritzmengenunter-
- 30

schiede festgehalten werden soll, zugeordnet und abgespeichert, damit sie später, beim Fahrbetrieb zur direkten Einspritzmengengleichstellung ohne Regelungszyklus abgerufen werden können. Wenn die Adaption für genügend viele Stützstellen (typischer Weise 5 bis 10), also beispielsweise für alle i=1 bis i=K eingestellten Einspritzparameterwerte des Druckes durchgeführt wurde, ist das Ende 8 der Adaption bzw. des laufenden Regelungszyklus erreicht und die gespeicherten Adoptionswerte können im Fahrbetrieb zur Gleichstellung der Einspritzmengen verwendet werden.

Figur 2 zeigt die in Schritt 6 durchgeführte Anpassung der Aktorsignale durch Veränderung der Ansteuerdauer und Aufladezeitdauer. Figuren 2A bis C zeigen im oberen Bereich zwei Ansteuerungssignale zweier Injektoren. Die Ansteuerungssignale wurden zur besseren Darstellbarkeit übereinander abgebildet. Im unteren Bereich sind die Ventilhübe der entsprechenden Injektoren abgebildet.

In Figur 2A werden die Injektoren mit identischen Ansteuerungssignalen angesteuert. Der erste Injektor erhält das Ansteuerungssignal 10 der zweite Injektor das Ansteuerungssignal 11. Jedes Ansteuerungssignal setzt sich aus einem nach oben gerichteten Aufladesignal (dreiecksförmig) 10' bzw. 11' und einem nach unten gerichteten Entladesignal 10'' bzw. 11'' (dreiecksförmig), das bei  $t_1$  anfängt und bei  $t_2$  endet. Wie zu erkennen ist, sind die Aufladedauern von 10' und 11' und die Entladedauer von 10'' und 11'' identisch. Der Zeitraum zwischen dem Ende der Aufladung und dem Anfang der Entladung ist für alle Figuren 2A bis 2C unverändert (Bereich zwischen  $t_2$  und  $t_3$ ). Aufgrund von Fertigungstoleranzen bewirken die gleichen Ansteuerungssignale 10 und 11 unterschiedliche Ventilhübe bei den Injektoren wie in den Signalen 13 und 14 zu erkennen.

nen ist. Dabei entspricht der Ventilhub 13 dem ersten Injektor und der Ventilhub 14 dem zweiten Injektor. Beim Erreichen des maximalen Nadelhubs (Nadelanschlag der Düsenadel) erzeugt der Aktor des ersten Injektors ein Aktorsignal S1 zum 5 Zeitpunkt von ca. 1,3 Zeiteinheiten. Der Aktor des zweiten Injektors erzeugt ein Aktorsignal S2 bei ca. 1,4 Zeiteinheiten. Wie zu erkennen ist, wird das Ventil des zweiten Injektors weniger angehoben als das des ersten Injektors, trotz gleicher Ansteuerungssignale. Außerdem wird das Ventil des 10 zweiten Injektors erst zum Zeitpunkt  $t_2$  angehoben, wobei dies beim ersten Injektor schon viel früher erfolgt ( $t'_1$ ). Diese Verzögerung wird durch den größeren Leerhub des zweiten Injektors verursacht.

15 In Figur 2B wird nun das Ansteuerungssignal des zweiten Injektors 11 etwas verändert, in dem die Aufladezeit verlängert wird und die Ansteuerungsdauer. Dies wird erreicht, in dem das Ende der Aufladezeit bei  $t_2$  unverändert bleibt. Die Ansteuerdauer setzt sich zusammen aus der Ladezeitdauer (Aufladezeitdauer und Entladezeitdauer) und dem Zeitraum zwischen den beiden Signalen. Der frühe Beginn des Aufladevorgangs führt zu einer früheren Überwindung des Leerhubs und damit zu einer schnelleren Ansteuerung des Ventils. Zu dem bewirkt der längere Ladevorgang eine Vergrößerung des maximalen Ventilhubs (von 16 auf 16'), d.h. von  $40\mu m$  auf über  $50\mu m$ , wie in den Figuren 2A und 2B gezeigt ist. Ebenfalls durch die Veränderung des Ansteuerungssignals des zweiten Injektors verschiebt sich das Aktorsignal S2 zu einem früheren Zeitpunkt, so dass die Aktorsignale S1 und S2 nunmehr näher beieinander 20 stehen als in Figur 2A.

25

30

In Figur 2C ist im Unterschied zur Figur 2B lediglich das Ladesignal 11' nochmals verlängert worden (Beginn jetzt bei

$t_0$ ), ohne dabei das Ende ( $t_2$ ) dieses Ladesignals zu verändern. Dadurch wird selbstverständlich die Ansteuerdauer verlängert. Durch dieses besondere Ladesignal 11'''' erfolgt der Ventilhub des zweiten Injektors zeitgleich zum Ventilhub des ersten Injektors, so dass die Hübe im unteren Bereich der Figur 2C nicht mehr auseinander zu halten sind. Durch die Anpassung der Ansteuerungsdauer und der Aufladezeitdauer kann der Ventilhub der einzelnen Injektoren angepasst werden, so dass die Aktorsignale S1 und S2 zeitgleich erfolgen. Unter 10 dieser Gleichzeitigkeit ist zu verstehen, dass das Aktor- signal des ersten Injektors, bei einem bestimmten Kurbelwel- lenwinkel des Kolbens bezogen auf den oberen Totwinkel des Kolbens erfolgt und entsprechend das Aktorsignal des zweiten Injektors bei dem gleichen Kurbelwellenwinkel bezogen auf 15 seinen oberen Totpunkt des Kolbens erfolgt.

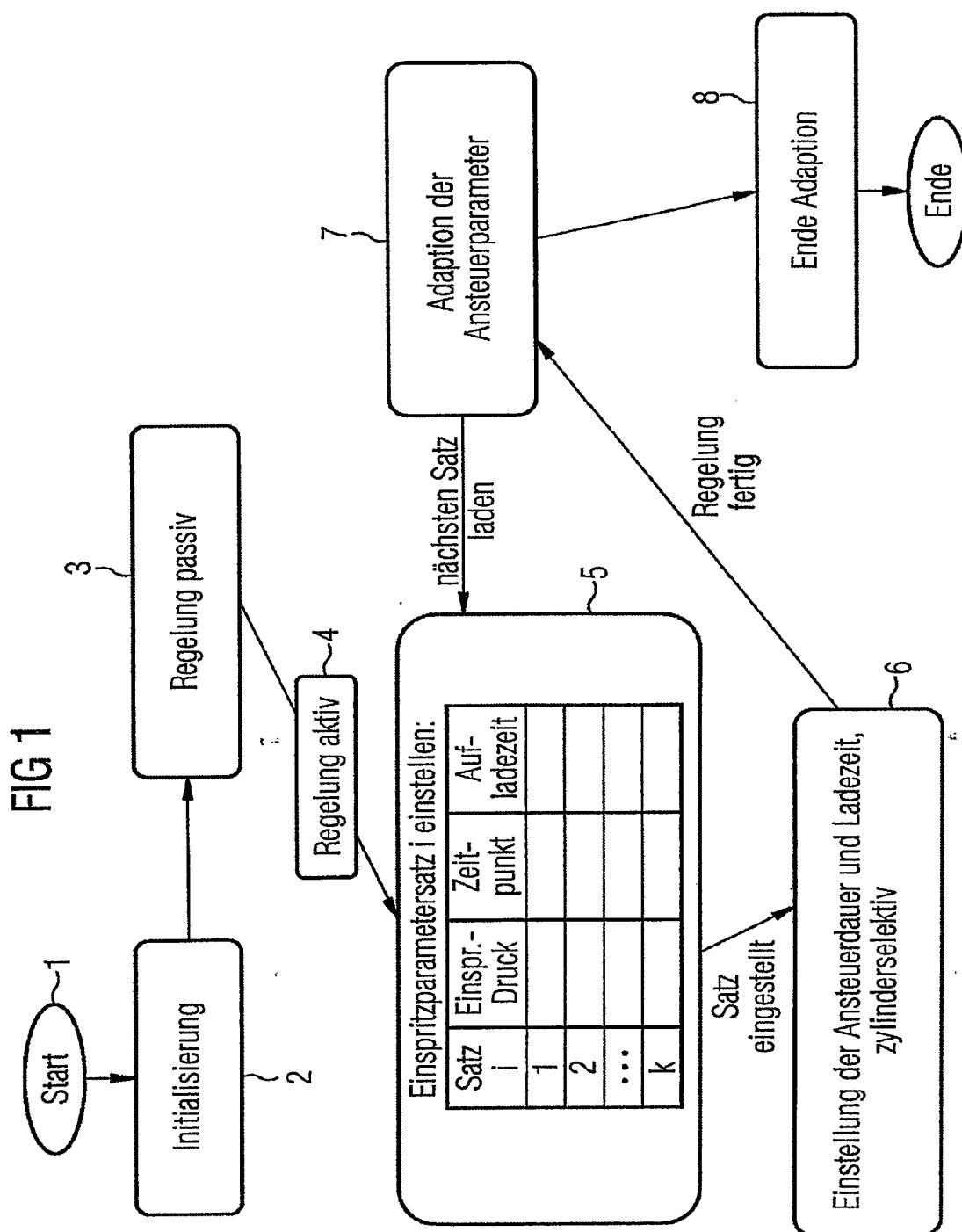
Bei jedem Regelungszyklus 6 werden die zuletzt gespeicherten Adoptionswerte bzw. Korrekturfaktoren von den neu ermittelten 10 überschrieben, wodurch insbesondere die zwischenzeitlich auf- 20 getretenen Alterungserscheinungen der Einspritzvorrichtung, die eventuell zu veränderten Streuungen bezüglich der Ein- spritzmengen in die verschiedenen Brennräume führen, Berück- sichtigung finden.

25 Optional ist es an dem eingestellten Betriebs- und aufgrund der Kenntnis des Motorbetriebszustandes (Temperatur des Kühl- wassers, aktive Verbraucher) möglich, aus dem Drehmomentenmo- dell den Absolutwert der Einspritzmenge herauszulesen und et- wa für die exakte Kalibration des Kennfeldes Einspritzmengen 30 zu verwenden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Gleichstellung der Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine, bei dem für verschiedene Betriebspunkte der Brennkraftmaschine für mindestens einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt wird, wobei während der Adaption die Dynamik eines ausgewählten Betriebspunktes begrenzt (Schritt 3) wird, dadurch gekennzeichnet,  
10 dass für den ausgewählten Betriebspunkt die Einspritzmengenunterschiede bestimmt und als Adaptionswerte (Schritt 6) gelernt werden, die dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnet werden, und dass zur Begrenzung der Dynamik der Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der gewählte  
15 Betriebspunkt im wesentlichen stationär bleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass die gelernten Adaptionswerte zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren dienen, mit denen mindestens ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen, Einspritzverläufe und des hydraulischen Einspritzbeginns erfolgt.  
25
3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerdauer, der Ansteuerzeitpunkt und/oder die Aufladezeitdauer herangezogen werden.  
30

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Zylinder der Beginn ( $t_3$ ) der Entladung des entsprechenden piezolelektrischen Aktors zum selben Kurbelwellenwinkel bezogen auf den oberen Totpunkt des entsprechenden Kolbens der Brennkraftmaschine, erfolgt.
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Zylinder das Ende ( $t_2$ ) der Aufladung des entsprechenden piezoelektrischen Aktors zum selben Kurbelwellenwinkel, bezogen auf den oberen Totpunkt des entsprechenden Kolbens der Brennkraftmaschine, erfolgt.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Entladezeitdauern (10'', 11'') aller Aktoren gleich sind.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Beginn und die Dauer der Aufladung des piezoelektrischen Aktors derart eingestellt wird, dass das erzeugte Aktorsignal (S1, S2) für jeden Injektor zum selben Kurbelwellenwinkel, bezogen auf den oberen Totpunkt des entsprechenden Kolbens der Brennkraftmaschine, erfolgt.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich der ausgewählte Betriebspunkt im Leerlauf-, Teillast- oder Volllastbereich befindet.



2/2

FIG 2A

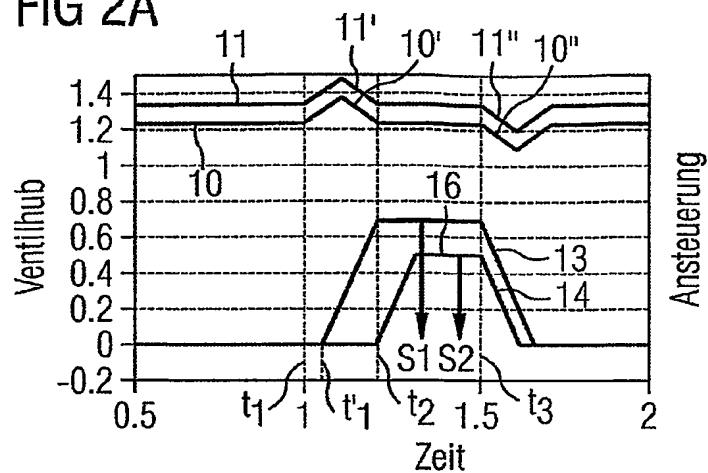


FIG 2B

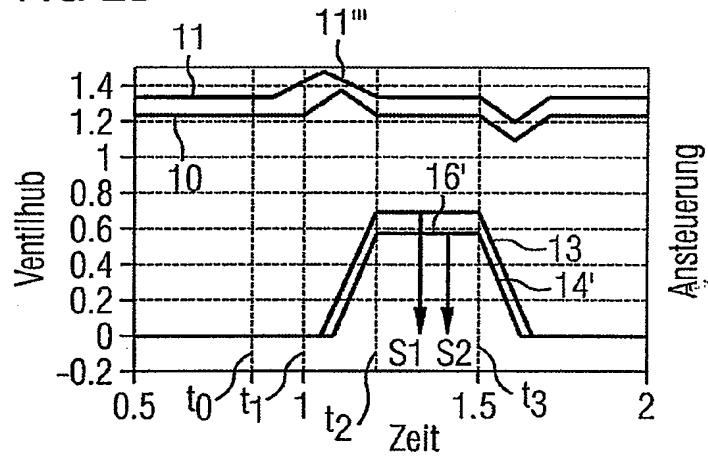


FIG 2C

